

CLASSIFICACIÓ MORFOGENÈTICA DE LES CAVITATS CÀRSTIQUES DE LES ILLES BALEARS

per Joaquín GINÉS ^{1,2} i Angel GINÉS ^{1,2}

Abstract

A typological classification of the caves and shafts in the Balearic Islands is presented in this paper, with the aim of update the knowledge on the morphogenetics of endokarst in the archipelago and incorporating the explorations and discoveries carried out during the last decades. After a brief overview about the classificatory attempts of subterranean cavities in our islands, a systematization on the basis of hydrogeological and speleogenetic criteria is proposed, establishing four main categories as follows: 1) vertical shafts in the vadose zone, 2) caves of the vadose zone, 3) inland phreatic caves, and 4) caves of the littoral fringe. Within these categories, up to ten cavity types corresponding to well-differentiated genetic modalities are distinguished, together with five additional subtypes that designate specific morphological singularities branching from a given typology. The geographical distribution of the diverse cave types in the different karst regions of the archipelago is analyzed, being worth to mention the richness and variety of subterranean forms in the mountain karst of Serra de Tramuntana, in Mallorca island, as well as the abundant and variegated littoral caves occurring in the Upper Miocene postorogenic carbonates of Mallorca, Menorca and Formentera islands. The hypogene speleogenetic processes recently documented in the karst areas of southern Mallorca contribute to supply new insights on the high diversity of subterranean environments represented in the Balearic archipelago.

Resum

Es presenta una classificació tipològica de les cavitats del conjunt de les Illes Balears, amb la intenció de posar al dia els coneixements sobre la morfogènesi de l'endocarst de l'arxipèlag, incorporant les exploracions i descobriments efectuats durant les darreres dècades. Després de fer una breu revisió dels intents classificatoris de les coves i avencs de les nostres illes, es proposa una sistematització basada en criteris hidrogeològics i espeleogenètics, en la qual s'estableixen les quatre grans categories següents: 1) avencs de la zona vadosa, 2) coves de la zona vadosa, 3) coves freàtiques no litorals, i 4) coves de la franja litoral. Dins d'aquestes categories es distingeixen deu tipus de cavitats, corresponents a modalitats genètiques diferenciades, així com cinc subtipus addicionals que agrupen singularitats morfològiques específiques dins d'una determinada tipologia. S'analitza la distribució geogràfica dels diferents tipus de cavitats en les diverses regions de l'arxipèlag, destacant per la varietat i riquesa de formes el carst de muntanya de la Serra de Tramuntana mallorquina, així com els carsts costaners desenvolupats als materials calcaris postorogènics del Miocè superior de les illes de Mallorca, Menorca i Formentera. La documentació de processos d'espeleogènesi hipogènica en les àrees càrstiques del sud de Mallorca, ha suposat unes troballes recents que incrementen la varietat d'ambients subterranis representats a les Balears.

Resumen

Se presenta una clasificación tipológica de las cavidades del conjunto de las islas Baleares, con la intención de poner al día el conocimiento sobre la morfogénesis del endokarst del archipiélago en base a las exploraciones y descubrimientos efectuados en los últimos decenios. Tras hacer una breve revisión de los intentos clasificatorios de las cuevas y simas de nuestras islas, se propone una sistematización basada en criterios hidrogeológicos y espeleogenéticos, en la que se establecen las cuatro grandes categorías siguientes: 1) simas de la zona vadosa, 2) cuevas de la zona vadosa, 3) cuevas freáticas no litorales, y 4) cuevas de la franja litoral. Dentro de estas categorías se distinguen diez tipos de cavidades, correspondientes a modalidades genéticas diferenciadas, así como cinco subtipos adicionales que agrupan singularidades morfológicas específicas dentro de una determinada tipología. Se analiza la distribución geográfica de los diferentes tipos de cavidades en las diversas regiones del archipiélago, destacando por la variedad y riqueza de formas el karst de montaña de la Serra de Tramuntana mallorquina, así como los karsts costeros desarrollados en los materiales calcáreos post-orogénicos del Mioceno superior de las islas de Mallorca, Menorca y Formentera. La reciente documentación de procesos de espeleogénesis hipogénica en las áreas kársticas del sur de Mallorca, ha supuesto unos hallazgos novedosos que incrementan la variedad de ambientes subterráneos representados en las Baleares.

1 Departament de Ciències de la Terra. Universitat de les Illes Balears.
Palma.

2 Grup Espeleològic EST. Palma.

Introducció

La sistematització de les cavitats balears des del punt de vista de la seva morfogènesi compta amb ben poques aproximacions que s'ocupin del conjunt de l'arxipèlag. En aquest sentit, la major part de les aportacions efectuades sobre aquesta matèria han estat centrades en l'endocarst de Mallorca, que és amb molt d'avantatge el més conegut i ben documentat del nostre entorn geogràfic.

Per tal d'eixamplar la perspectiva sobre aquest vessant específic de l'estudi del carst balear, el present treball intentarà establir una categorització de les coves i avencs de l'arxipèlag, sobre la base de la recent proposta que varem elaborar per a l'illa de Mallorca (GINÉS & GINÉS, 2009). Dins d'aquesta línia, la classificació tipològica exposada ara es basarà en els criteris hidrogeològics i espeleogenètics que s'enunciaven a l'esmentat treball, encara que convenientment actualitzats amb les dades corresponents a les diferents illes i les descobertes recents que han tingut lloc en cadascuna d'elles.

Tanmateix, és necessari insistir en un fet inqüestionable: la classificació de fenòmens naturals complexos exigeix sempre esforços importants de simplificació en procedir a encasellar, en classes ben individualitzades, elements que participen de trets característics de varies de les categories que es defineixen. Aquesta circumstància és particularment notòria en la mesura que la pròpia evolució morfològica de l'endocarst implica l'actuació d'una àmplia gamma de processos —esfondraments generalitzats, deposició d'espeleotemes i altres tipus de sediments— que tendeixen a homogeneïtzar l'aparença de les cavitats, amb independència dels processos inicials involucrats en la seva gènesi. En aquest sentit, i per tal de no repetir arguments ja exposats àmpliament en aquestes mateixes planes, remetem al lector als apartats introductoris de GINÉS (1995), GINÉS *et al.* (2008) i GINÉS & GINÉS (2009), on es poden consultar les idees bàsiques referents a l'entroncament de la classificació utilitzada amb les teories espeleogenètiques admeses avui en dia.

Les classificacions de les cavitats balears

Els intents de sistematitzar les característiques de l'endocarst balear es desenvolupen de mode paral·lel a l'eclosió de les activitats espeleològiques dels grups illencs, que té lloc durant el darrer terç del segle XX. Cal tenir present que, fins aleshores, el coneixement de les coves i avencs de les Balears es limitava a ben poques localitats, explorades bàsicament per investigadors forans i molt en particular procedents de l'àmbit de l'espeleologia catalana (GINÉS & GINÉS, 2004).

Dins d'aquest context, l'any 1974 es publiquen dos assajos pioners tendents a la classificació de les ca-

vitats de l'illa de Mallorca, que veuen la llum al primer número d'ENDINS. El primer d'ells (ENCINAS *et al.*, 1974) ofereix una categorització de caire genètic, molt particular, que no va tenir gaire repercussió ni donà lloc a evolucions posteriors. El segon assaig, elaborat per GINÉS & GINÉS (1974) distingia 10 tipologies d'avencs i coves en base a criteris morfogenètics i topogràfics, analitzant la distribució de les diferents tipologies en les distintes regions naturals de l'illa. Aquesta classificació fou usada i actualitzada en una publicació posterior (GINÉS & GINÉS, 1987), en la qual s'insisteix en els trets característics —des del punt de vista espeleològic— de les diverses regions càrstiques de Mallorca.

Sense moure'ns de la major de les Illes Balears, GINÉS (1995) proposà alguns anys després una nova classificació, basada principalment en els processos espeleogenètics responsables de la formació de les cavitats mallorquines. Aquest treball serà revisat i actualitzat amb posterioritat, incorporant les recents descobertes espeleològiques (GINÉS & GINÉS, 2009) i establint una categorització de caràcter morfogenètic i hidrogeològic que de fet —i amb molt lleugeres variacions— serà la que s'utilitzarà en aquestes pàgines, per bé que complementada amb dades referides al conjunt de l'arxipèlag.

Pel que fa a les Pitiüses, la monografia de TRIAS (1983) suposa un intent de classificació tipològica de les cavitats d'aquest subarxipèlag. A més de reconèixer diferents tipus d'avencs en l'illa d'Eivissa, així com abundants coves on predominen els processos d'esfondrament, aquest autor insisteix en l'especificitat de l'endocarst de Formentera. En aquesta petita illa destaca la presència d'un particular tipus de cavitat, que TRIAS (1983) anomena *cova de cingle*, el qual es caracteritza pel seu desenvolupament més o manco paral·lel als penya-segats costaners i una escassa penetració cap a l'interior de l'illa.

En el cas de Menorca, la publicació d'una extensa monografia sobre el Migjorn d'aquesta illa inclou dos treballs (GINÉS & FORNÓS, 2004; TRIAS, 2004) que s'ocupen del carst d'aquesta regió, constituïda per materials calcaris del Miocè superior, i dels tipus de cavitats representats en ella. Ambdues publicacions palesen els trets diferencials del sector central del Migjorn, on predomina l'espeleogènesi associada als barrancs fluvio-càrstics, en contraposició als sectors occidental i oriental caracteritzats per la presència de coves litorals desenvolupades en els dipòsits carbonatats de la unitat d'esculls.

Finalment, cal ressenyar algunes publicacions que s'apropen a la classificació de les cavitats del conjunt del nostre arxipèlag. En primer lloc, encara que amb un caràcter molt simplificat i elemental, GINÉS & GINÉS (1989) exposen els gran trets diferencials de les regions càrstiques de les Illes Balears, distingint tan sols entre cavitats verticals, formes horitzontals de drenatge i coves de desenvolupament clàstic o d'esfondrament. En segon lloc, en un treball recent sobre l'espeleogènesi en els dipòsits postorogènics del Miocè superior de Mallorca, s'analitzen també els tipus de cavitats presents en les diferents illes i l'estreta dependència existent entre els fenòmens endocàrstics i la litoestratigrafia d'aquests materials carbonatats (GINÉS *et al.*, 2008).

Classificació morfogenètica proposada

En base als esmentats antecedents, ha estat elaborada una classificació dels avencs i coves de les Illes Balears, que es basa substancialment en la sistematització proposada a GINÉS & GINÉS (2009). Aquesta classificació distingeix quatre grans categories morfogenètiques, que s'articulen al voltant del context hidrogeològic on s'han generat i evolucionat les cavitats subterrànies. Les categories que han estat diferenciades són:

- avencs de la zona vadosa
- coves de la zona vadosa
- coves freàtiques no litorals
- coves de la franja litoral

Dins d'aquestes grans categories es distingeixen un total de 10 *tipus* diferents de cavitats, que corresponen a modalitats genètiques a bastament individualitzades

dins de cadascuna d'elles. Així mateix, dins d'alguns dels tipus de cavitats considerats es diferencien fins a 5 *subtipus* addicionals, consistents en conjunts de formes subterrànies que mostren un cert grau de singularitat dintre d'una determinada tipologia; aquesta diferenciació en subtipus de cavitats obeeix en general a peculiaritats de la seva gènesi, que es tradueixen en trets morfològics relativament específics.

En total s'estableixen 15 modalitats morfogenètiques que apareixen recollides a la Taula I, on també es reflecteix la seva distribució geogràfica en les distintes regions càrstiques de l'arxipèlag balear tal com apareixen delimitades a GINÉS & GINÉS (1989). Val a dir que les illes menors, com és el cas de la Dragonera o el subarxipèlag de Cabrera, no han estat contemplades com a regions càrstiques independents, sinó que es consideren incloses respectivament en la Serra de Tramuntana i les Serres de Llevant de l'illa de Mallorca. A més, s'ha aprofitat la Taula I per incloure-hi una valoració quantitativa sobre el grau de representació

context morfo-hidrogeològic	tipus i subtipus de cavitats	MALLORCA				MENORCA			EIVISSA	FORMENTERA
		Mesozoic plegat		Miocè superior		Mesozoic	Miocè superior		Mesozoic plegat	Miocè superior
		Serra de Tramuntana	Serres de Llevant	del Migjorn	Marina de Llucmajor	Tramuntana	Migjorn extrems E-W	Migjorn zona central		
Avencs de la zona vadosa	avencs de dissolució	●	○			○		○	○	
	— pous d'alimentació nival	○								
	avencs d'origen mecànic	●	○			○			○	
Coves de la zona vadosa	coves estructurals	●								
	coves d'esfondrament	●	○	○	○	○	○	○	○	
	— sales de col·lapse de volta baixa	●	○	○			○		○	
	— dissolució de guixos subjacents	○								
Coves freàtiques no litorals	galeries de drenatge	●	○					●		
	xarxes laberíntiques	○	○	○						
	coves hipogèniques		○		○					
Coves de la franja litoral	coves de la zona de mescla costanera	○	○	●	○		●	○		○
	— xarxes freàtiques amb control estructural		○	○						○
	— coves marginals litorals							○		●
	xarxes freàtiques litorals amb influències hipogèniques				●					
	captures càrstico-marines	●	●	●	○	○	●	○	○	●

● abundància ○ presència

Taula I: Classificació morfogenètica de les coves i avencs de les Illes Balears. S'indica l'abundància relativa de les distintes tipologies en les principals regions càrstiques de l'arxipèlag (consulteu les explicacions addicionals incloses al text).

Table I: Morphogenetic classification of caves and shafts in the Balearic Islands. The relative abundance of the different typologies in the main karst regions of the archipelago is also shown in the table (see additional explanations in the text).

de les distintes tipologies en les regions càrstiques de les illes; en aquest sentit, per a cada tipus de cavitats s'expressa la seva *abundància* significativa o tan sols la seva *presència* ocasional.

A continuació es descriuran els contextos hidrogeològics i morfològics de les quatre grans categories establertes, així com els diversos tipus i subtipus que s'hi distingeixen. Per tal de complementar la classificació proposada, a la Figura 1 es representen els perfils idealitzats de les diferents illes i les tipologies de cavitats que hi són presents. L'illa d'Eivissa i la regió de la Tramuntana de Menorca no compten amb representació gràfica a l'esmentada figura, donat la relativa pobresa del seu endocarst; en el cas d'Eivissa, resulta més o manco vàlida la representació corresponent a les muntanyes de Mallorca, encara que salvant les distàncies que imposen les diferències d'escala entre ambdues illes.

Els avencs de la zona vadosa

El major nombre de cavitats explorables s'ubica en la zona vadosa del carst —o zona d'infiltració—, la qual està presidida, des del punt de vista hidrogeològic, per una ràpida circulació vertical de les precipitacions meteorològiques a través de la part superior dels massissos calcaris. Les cavitats més característiques d'aquesta zona són els avencs, els quals constitueixen una primera categoria morfogenètica que agrupa formes subterrànies generades i evolucionades íntegrament en la zona vadosa del carst, i que estan relacionades amb la infiltració de les precipitacions i el seu recorregut fins a assolir el nivell freàtic (Figura 1). En la majoria dels casos es tracta d'avencs excavats en els materials plegats que integren les àrees muntanyoses de les illes; abunda sobretot en les calcàries mesozoiques, encara que també hi ha avencs importants desenvolupats en els conglomerats del Miocè inferior. Dins d'aquesta primera categoria es diferencien dues tipologies de cavitats verticals (Taula I) que es descriuen tot seguit, així com un subtipus addicional d'una d'elles.

AVENCs DE DISSOLUCIÓ

Sens dubte és un dels tipus de cavitats més abundants a les elevacions muntanyoses de la Serra de Tramuntana de Mallorca, trobant-se també representats en major o menor mesura a gairebé totes les regions naturals de l'arxipèlag. Aquesta tipologia agrupa un ampli ventall de formes de tendència vertical, originades per dissolució en condicions vadoses a conseqüència del drenatge en profunditat de les precipitacions. En la present classe entrarien des dels petits avencs epicarstics, existents als camps de lapiaz, fins a les nombroses cavitats verticals de majors dimensions (Figura 2), assimilables als *gouffres d'absortion* de GÈZE (1953); els avencs de dissolució vadosa apareixen generalment referits a la bibliografia internacional amb termes diversos com: *vadose shafts*,

solutional shafts o *vadose pits* (FORD & WILLIAMS, 2007; HESS, 2005). Els millors exemples d'aquest tipus d'avencs se situen a les muntanyes mallorquines i estan integrats per un o més buits verticals, sovint fusiformes (MAUCCI, 1952) i assentats sobre fractures, que se succeeixen en profunditat i arriben a assolir fondàries superiors als 300 m, com és el cas de l'Avenc del Puig Caragoler, al municipi d'Escorca (PLOMER & GINÉS, 2008). Alguns avencs inclouen impressionants pous de més de 100 m de fondària, com l'Avenc des Travessets, a Artà (Figura 3), o l'Avenc d'Escorca i l'Avenc de s'Aigo (GRUP ESPELEOLÒGIC EST, 1982, 1986), ambdós al municipi d'Escorca. Els avencs d'aquest tipus també estan representats a les muntanyes d'Eivissa i a l'illa de Menorca, encara que en general es tracta de escasses cavitats de dimensions molt modestes.

Pous d'alimentació nival. Dins la tipologia que ha estat descrita al paràgraf precedent, és possible diferenciar un subtipus de cavitats que evidencien una important alimentació nival present i/o pretèrita (GINÉS & GINÉS, 1974, 1987), i per tant estan representades únicament a les muntanyes més elevades de Mallorca. Aquests pous d'alimentació nival són de fet avencs de dissolució que presenten fondàries reduïdes i estan dotats d'àmplies boques, on s'acumulen les precipitacions de neu i s'infiltra lentament les aigües resultants de la seva fusió. Moltes cavitats dels massís del Massanella, a Escorca, són prou il·lustratives d'aquest subtipus (GINÉS *et al.*, 1980, 1982), així com un bon nombre d'avencs localitzats a les cotes superiors de la Serra de Tramuntana (GINÉS & GINÉS, 2009).

AVENCs D'ORIGEN MECÀNIC

Aquest tipus d'avencs són cavitats de planta rectangular que arriben de vegades a profunditats notables. La seva presència està relacionada amb els processos de distensió que es produeixen als relleus enèrgics de les muntanyes illenques i, en particular, a les proximitats de grans penya-segats. Així es formen importants esclatxes, molt properes i paral·leles als espadats rocosos, que es correspondrien amb les *fentes de décollement* de RENAULT (1967) o els *gouffres tectoniques* de GÈZE (1953). Els avencs d'aquestes característiques estan presents sobretot a les zones muntanyoses de les diferents illes, vinculats generalment a l'existència d'espadats notables ja siguin interiors o costaners. Els exemples més destacables, pel que fa a les seves dimensions, se situen a la Serra de Tramuntana de Mallorca, com és el cas de l'Avenc de ses Papallones, a Bunyola (TRIAS, 1979a), o el Crull de Can Termes, al terme d'Escorca (ENCINAS, 1995), que supera els 200 m de fondària. En algunes ocasions, com succeeix a la Mola del Ram (entre els municipis mallorquins de Puigpunyent i Esporles), es tracta d'importants fractures verticals gairebé no retocades pels processos de carstificació, les quals no estan lligades directament a la presència de grans espadats sinó a la distensió generalitzada del massís calcari (GINÉS & GINÉS, 2009).

Les coves de la zona vadosa

Una gran part de les cavitats accessibles a l'espeleòleg són coves horitzontals que han experimentat una dilatada evolució en condicions vadoses, amb independència de la seva possible excavació inicial en un context hidrogeològic diferent. D'aquesta manera, la segona categoria de formes subterrànies que es distingeix ara, agrupa les coves de tendència subhoritzontal que tenen en comú dues característiques definidores: es troben avui en dia situades a la zona vadosa dels mas-

sissos càrstics (Figura 1) i, a més a més, les morfologies actualment observables fan molt difícil establir com eren els buits primigenis que originaren les cavitats. En molts de casos, la gènesi d'aquestes coves pot correspondre a una excavació en règim freàtic dels buits inicials; es tractaria del que BÖGLI (1980) denomina *secondary vadose caves*, en contraposició als avencs abans descrits, el caràcter vadós dels quals és clarament primari. Es distingeixen dos tipus principals de coves que reuneixen aquests trets, essent factible individualitzar altres dos subtipus addicionals dintre del que es denomina amb el terme general de coves d'esfondrament (Taula 1).

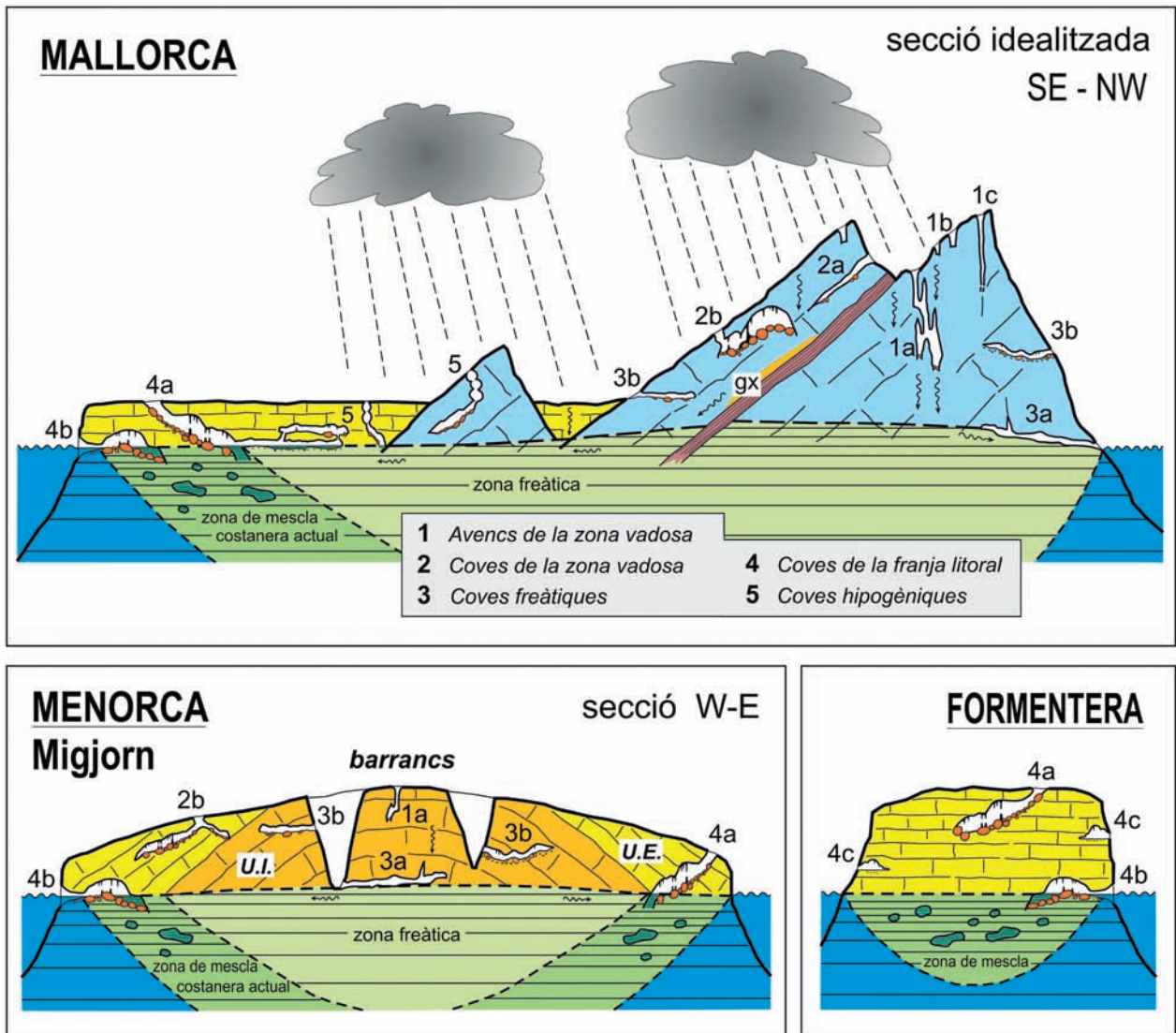


Figura 1: Representacions esquemàtiques dels tipus de cavitats presents a les Illes Balears, realitzades al llarg d'uns perfils ideals de les illes de Mallorca, Menorca i Formentera (consulteu les explicacions addicionals incloses al text).

1a: avenc de dissolució vadosa; 1b: avencs vadosos d'alimentació nival; 1c: avenc d'origen mecànic; 2a: cova estructural; 2b: cova d'esfondrament; gx: guixos triàsics subjacents; 3a: coves freàtiques amb activitat hidrològica; 3b: coves freàtiques antigues; 4a: coves de la zona de mescla costanera, morfològicament molt evolucionades; 4b: coves càrstico-marines; 4c: coves marginals litorals; 5: coves hipogèniques. En el Miocè superior de Menorca, s'han diferenciat les unitats inferiors (U.I.) de les unitats superiors esculloses (U.E.) molt més permeables.

Figure 1: Schematic representations of the cave typologies present in the Balearic archipelago, outlined on ideal cross-sections of Mallorca, Menorca and Formentera islands (see additional explanations in the text).

1a: vadose dissolution shaft; 1b: snow-fed vadose shafts; 1c: mechanical shaft; 2a: structurally controlled cave; 2b: breakdown or collapse cave; gx: subjacent Triassic gypsum; 3a: phreatic caves, still presenting hydrological activity; 3b: ancient phreatic caves; 4a: coastal mixing-zone caves, very evolved morphologically; 4b: marine-karstic caves; 4c: flank margin caves; 5: hypogenic caves.

In the Upper Miocene of Menorca, the lower units (U.I.) and the more permeable upper reefal units (U.E.) have been differentiated.



Figura 2: Pou inicial de l'Avenc dels Portuguesos (Escorca) que es localitza a la zona de Mortitx, sens dubte un dels paratges càrstics més rellevants de la Serra de Tramuntana mallorquina. Es tracta d'un típic avenc de dissolució de la zona vadosa, relacionat amb el drenatge vertical de les precipitacions (Foto: Gabriel Santandreu).

Figure 2: Entrance pit of Avenc dels Portuguesos (Escorca) located at Mortitx area, undoubtedly one of the most outstanding karst landscapes from Serra de Tramuntana mountains, in Mallorca Island. It is a typical vadose solutional shaft, related to the vertical drainage of meteoric precipitations (Photo: Gabriel Santandreu).

COVES ESTRUCTURALS

En primer lloc, dins la categoria de coves situades a la zona vadosa s'inclou un tipus que designem com a coves estructurals. Es tracta de cavitats localitzades als materials plegats de la Serra de Tramuntana mallorquina, que consisteixen en una o varies àmplies sales disposades amb una tònica general descendent, aprofitant discontinuïtats subhoritzontals com són algunes falles o, més freqüentment, plans d'encavalcament. Aquestes coves han estat sovint retocades per esfondraments de les voltes, així com emmascarades per abundants dipòsits estalagmítics. Localitats com la Cova de ses Meravelles (Bunyola), la Cova Morella i la Cova del Boc (ambdues a Pollença) i la Cova de la Tossa Alta (Escorca) són molt bons exemples d'aquest tipus de cavitat.

COVES D'ESFONDAMENT

La segona tipologia de cavitats vadoses està representada per les coves d'esfondrament, la morfologia de

les quals està del tot condicionada per l'existència de grans acumulacions de blocs rocosos despresos de les parets i voltes. Aquests mecanismes morfogenètics apareixen designats a la bibliografia internacional amb expressions molt generals com *breakdown* o *collapse processes* (KLIMCHOUK *et al.*, 2000; FORD & WILLIAMS, 2007; PALMER, 2007), o termes més específics com *incasion* (BÖGLI, 1980); a la literatura espeleològica en llengües hispanes ha estat freqüent l'ús del terme –no gaire afortunat ni precis– de *procesos clàstics* (MONTORIOL-POUS, 1951). En les coves balears resulta del tot habitual que aquests fenòmens assolixin una magnitud destacable, de manera que arriben gairebé a esborrar per complet els indicis relatius a les primeres fases de l'excavació de les cavitats (GINÉS & GINÉS, 1987; GINÉS, 1995); per a la majoria d'elles no es pot descartar un origen freàtic, encara que el seu aspecte actual no aportí cap evidència en aquest sentit. En general, les coves corresponents a aquesta tipologia tenen caràcter subhoritzontal i de vegades un volum certament important; la decoració estalagmítica sol estar present, emmascarant les acumulacions de blocs rocosos. Malgrat que estan representades pràcticament a totes les regions càrstiques de l'arxipèlag, els exemples més il·lustratius es donen a les calcàries mesozoiques plegades de la Serra de Tramuntana mallorquina, amb localitats ben representatives com les Coves de Campanet (LLOPIS-LLADÓ & THOMAS-CASAJUANA, 1948) o la Cova de sa Campana, al municipi d'Escorca, que conté alguna sala que ultrapassa els 100.000 m³ de volum (BARRERES *et al.*, 1976; MIR & TRIAS, 1973). Una menció particular mereixen algunes cavitats d'entrada vertical com l'Avenc de Son Pou (THOMAS-CASAJUANA & MONTORIOL-POUS, 1952a), al terme de Santa Maria del Camí, constituïdes per àmplies sales d'esfondrament accessibles mitjançant obertures naturals existents en el zenit de les seves voltes; aquestes formes subterrànies es correspondrien amb els *gouffres d'effondrement* de GÈZE (1953).

Fent al·lusió als mecanismes de reajustament mecànic de les voltes i parets, és convenient remarcar que gairebé totes les tipologies que es descriuran d'ara endavant es veuen afectades, en major o menor mesura, pels processos d'esfondrament o col·lapse (Figura 4). No obstant això, la pervivència de vestigis dels buits freàtics primigenis o el particular context hidrològic actual –per exemple, la relació genètica amb la zona de mescla litoral– permeten que determinades coves on predominen les morfologies d'esfondrament siguin adscrites a altres categories, ja que evidencien unes connotacions hidrogeològiques i/o hidrogeoquímiques molt més específiques.

Sales de col·lapse de volta baixa. Resulta fàcil de constatar el fet que bastants de les coves pertanyents a la tipologia de coves d'esfondrament presenten unes característiques ben diferenciades, les quals permeten agrupar-les en un subtipus que s'ha designat amb el nom de sales de col·lapse de volta baixa. Es tracta de sales d'àmplies dimensions en planta, però que mostren un volum proporcionalment moderat com a conseqüència de l'escassa alçada de les seves voltes. Les cavitats que reuneixen aquestes condicions estan representa-

des a gairebé totes les illes, malgrat que els exemples més abundants i significatius es localitzen a les diferents àrees muntanyoses de Mallorca, com és el cas de la Cova de Can Sion, a Pollença (ENCINAS, 1994), la Covota de la Penya Rotja, a Alcúdia (TRIAS, 1986a), o la Cova des Diners, a Manacor (TRIAS, 1979b); a l'illa d'Eivissa, la turística Cova de Can Marçà (a prop del Port de Sant Miquel) entraria així mateix dins la tipologia que ens ocupa. També trobem cavitats d'aquestes característiques en els dipòsits carbonatats del Miocè superior de la zona de Ca n'Olesa, als voltants de Portocristo (GINÉS *et al.*, 2007), així com en els materials anàlegs del Migjorn de Menorca on es localitza la Cova C-2, al nord de Ciutadella (TRIAS, 2004). Aquest subtipus de cova d'esfondrament es correspon amb algunes modalitats de les *collapse chambers*, tal i com foren definides per GINÉS (2000a), que consisteixen en grans sales generades pel col·lapse generalitzat d'àrees extenses del rocam calcari, amb un desplaçament vertical de la massa rocosa més aviat petit. Les cavitats originades, a més de presentar voltes d'alçades modestes i fins i tot bastant reduïdes, tendeixen en ocasions a verticalitzar-se cap a la seva perifèria arribant a fondàries notables, com succeeix a la Cova de Can Sion (Pollença), que ultrapassa el centenar de metres de fondària.

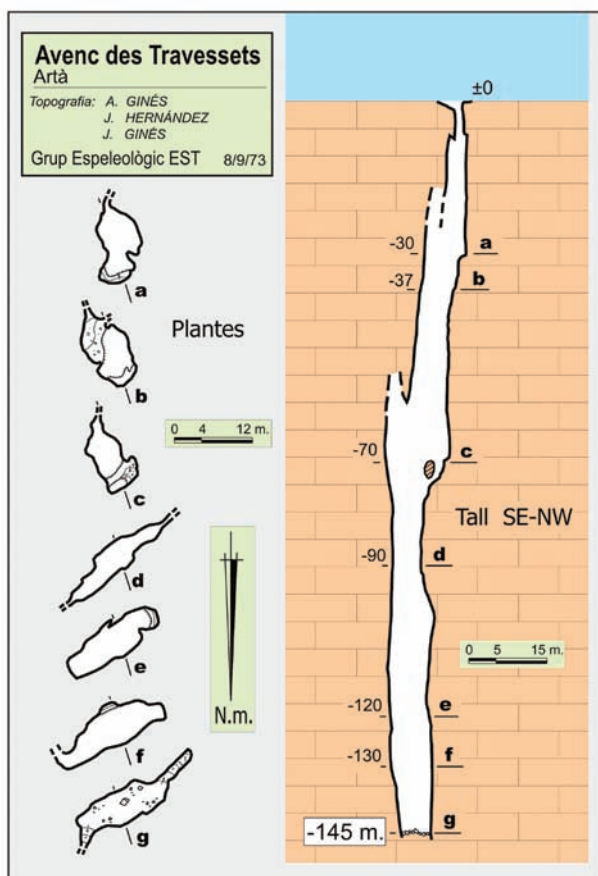


Figura 3: Els avenços de dissolució generats a la zona vadosa abunden a les elevacions muntanyoses de Mallorca, on assolixen de vegades profunditats importants.

Figure 3: The dissolution shafts originated in the vadose zone are abundant in the mountain areas of Mallorca, where they sometimes reach significant depths.

Dissolució de guixos subjacents. Algunes coves que exhibeixen morfologies dominants d'esfondrament o col·lapse poden estar relacionades amb reajustaments mecànics de la massa calcària, provocats per la dissolució de guixos subjacents. L'esmentada situació es produeix amb relativa freqüència a la Serra de na Burguesa (BOVER *et al.*, 2004), a cavall dels municipis mallorquins de Calvià i de Palma, essent les Coves del Pilar (Palma) la localitat on aquests fenòmens s'observen amb més claredat (VICENS *et al.*, 2005); aquí, els guixos del Triàsic apareixen en les galeries artificials inferiors, disposats en bancs massius d'uns pocs metres de potència. Convé remarcar que els processos responsables d'aquest subtipus de coves d'esfondrament ja havien estat proposats per CAÑIGUERAL (1949), per tal d'explicar la formació de determinades coves de la Serra de Tramuntana. Aquesta modalitat genètica no està documentada en cap altra regió càrstica de l'arxipèlag.

Les coves freàtiques no litorals

La tercera categoria morfogenètica, que ha estat diferenciada dins l'endocarst balear, reuneix determinades coves que denoten clarament una gènesi lligada a processos de dissolució en règim freàtic, malgrat que cal reconèixer el fet que aquestes cavitats no són en general massa freqüents en les diferents regions de l'arxipèlag. La categoria que ens ocupa ara està integrada per formes subterrànies excavades originàriament a la banda inferior dels massissos càrstics, és a dir a la zona freàtica, on tots els buits existents a la roca –porositat primària, fractures i conductes càrstics– es troben totalment negats d'aigua de manera permanent. En aquest horitzó hidrogeològic, també conegut com a zona saturada, el drenatge subterrani s'organitza en sentit horitzontal cap a les surgències, mitjançant les quals són evacuades les aigües que circulen per l'interior del sistema càrstic (Figura 1). No obstant això, en la majoria d'ocasions aquests fenòmens endocàrstics estan, ara per ara, desconnectats de les circulacions subterrànies actives, com a resultat de la història geomorfològica dels massissos calcaris als quals pertanyen. A més a més, en la mesura que sovint es tracta de formes senils i no funcionals des del punt de vista hidrològic, aquestes cavitats solen haver experimentat una intensa evolució morfològica després d'haver passat a formar part de la zona vadosa del carst (processos d'esfondrament i deposició d'espeleotemes, bàsicament). Es poden distingir tres tipus de coves freàtiques no litorals, tal i com apareix expressat a la Taula I.

GALERIES DE DRENATGE

En general estan constituïdes per galeries més aviat rectilínies i no gaire ramificades, on és possible observar freqüentment morfologies arrodonides produïdes per la dissolució en condicions freàtiques. Algunes de les localitats pertanyents a aquesta tipologia són encara actives, pel que fa a la seva funcionalitat hidrològica,

i estan recorregudes per corrents subterranis perennes (Figura 5). Alguns exemples d'aquestes característiques són abundants a la Serra de Tramuntana mallorquina, on destaquen la Cova dels Estudiants (ROMERO, 1975; BENYSEK, 1988) i la Font des Verger (RIPOLL & ROCA, 1974; CORRIGAN, 1998), localitzades al municipi de Sóller, les quals contenen sengles cursos subterranis actius i compten amb importants continuacions subaquàtiques. Altres cavitats actives destacables, situades a la mateixa regió de Mallorca, són la Cova des Torrent de Cúber, a Escorca, o la Cova de les Rodes (ENCINAS, 1972) i la Font de l'Algaret (GRUP NORD DE MALLORCA, 1973), ambdues situades al terme de Pollença.

En altres ocasions ens trobem amb formes subterrànies no funcionals, que en són testimoni de la complexa història geomorfològica dels relleus de la Serra de Tramuntana. Localitats com la Cova de Canet, a Esporles (PONS-MOYÀ *et al.*, 1979; ALCOVER *et al.*, 2001), o la Cova de Cal Pessó, a Pollença (MORRO & MORRO, 1972), constitueixen exemples ben eloqüents d'antics conductes freàtics de drenatge, hidrològicament inactius a hores d'ara.

A part de les localitats ja citades, que es circumscriuen sempre a les àrees muntanyoses, sobretot les septentrionals de l'illa de Mallorca, l'altra regió càrstica on també es troba representada aquesta tipologia és el Migjorn de Menorca. En el sector central d'aquesta extensa plataforma calcària abunden les formes de dre-

natge, excavades en relació amb l'aprofundiment dels importants barrancs que solquen aquesta part de l'illa (Figura 1); tal situació té a veure amb el fet que els materials postorogènics del Miocè superior, que afloren en el sector central del Migjorn, són les relativament poc permeables "unitats inferiors" (GINÉS & FORNÓS, 2004; GINÉS *et al.*, 2008), degut a la particular disposició estructural de la citada regió en forma d'anticlinal lax (GELABERT, 2003). En molts de casos, com succeeix a la Cova de ses Abelles (TRIAS, 2004), a Ferreries, es tracta de galeries no funcionals que apareixen penjades en les parets d'espectaculars canyons fluvicàrstics com el Barranc d'Algendar (Figura 6). En aquest sector existeixen així mateix algunes cavitats importants hidrològicament actives com són la Cova d'en Curt, a Ferreries (TRIAS & GINÉS, 1989), i la Font de sa Vall, també anomenada Cova de s'Aigo de Son Boter, al municipi d'Es Migjorn Gran, la qual segons sembla ultrapassa els tres quilòmetres de recorregut (GINÉS & FORNÓS, 2004; TRIAS, 2004).

XARXES LABERÍNTIQUES

Aquest tipus de cavitats és generalment de dimensions modestes i està representat en totes les regions naturals de Mallorca, encara que amb molt escasses localitats; a les altres illes no es coneixen cavitats que



Figura 4: Les morfologies d'esfondrament o col·lapse estan presents a la gran majoria de les tipologies de les coves balears. A la imatge es pot observar una de les grans sales de la Cova des Pas de Vallgornera (Llucmajor), extensa cavitat de gènesi complexa localitzada al litoral meridional de Mallorca (Foto: Bogdan Onac).

Figure 4: Breakdown or collapse features are ubiquitous in the vast majority of cave typologies represented in the Balearic Islands. In this picture, one of the biggest chambers from Cova des Pas de Vallgornera (Llucmajor) can be observed; it is a genetically complex large cave located in the southern coast of Mallorca (Photo: Bogdan Onac).

Figura 5: El tram final de la Cova de les Rodes (Pollença, Mallorca) es veu recorregut per un corrent hídric perenne que drena cap a la Cala Sant Vicenç. Les formes de drenatge de tendència subhoritzontal compten amb els seus millors exemples a la Serra de Tramuntana de Mallorca i al sector central del Migjorn de Menorca (Foto: Gabriel Santandreu).

Figure 5: The final passages in Cova de les Rodes (Pollença) are traversed by an underground stream flowing towards Cala Sant Vicenç coastal bight. The subhorizontal drainage conduits are well represented at Serra de Tramuntana, in Mallorca Island, as well as at the central sector of Migjorn region in Menorca (Photo: Gabriel Santandreu).



puguin ser adscrites a aquesta tipologia. Es tracta de fragments inactius de xarxes laberíntiques de conductes, excavats en el seu moment en la zona freàtica del sistema càrstic. La Cova de Son Burguet (Puigpunyent), o la Cova d'en Tocaiores (Petra), són cavitats prou il·lustratives, si bé la localitat més remarcable pel seu desenvolupament proper al quilòmetre de galeries és sens dubte la Cova de sa Teulada, al municipi de Santa Margalida (THOMAS-CASAJUANA & MONTORIOL-POUS, 1952b). L'esmentada localitat, encara que geogràficament es troba allunyada de la regió del Migjorn de Mallorca, està enclavada en els mateixos materials calcaris postorogènics del Miocè superior que configuren el sud i llevant de l'illa; per aquest motiu, i encara que sigui d'una manera prou forçada, considerarem la Cova de sa Teulada com a pertanyent al Migjorn, tan sols en base als criteris d'afinitat litològica amb aquesta regió càrstica mallorquina.

Tant en la present tipologia –xarxes laberíntiques– com en l'anterior –galeries de drenatge–, la gènesi freàtica dels buits primigenis és força evident, tot i que les cavitats han experimentat de vegades una dilatada evolució en condicions vadoses. En ambdós casos, semblen correspondre a una gènesi freàtica poc profunda, relacionada amb la banda de fluctuació de les aigües subterrànies, o zona epifreàtica.

COVES HIPOGÈNIQUES

L'existència de cavitats de gènesi hipogènica és una idea d'introducció més aviat recent i, endemés, està dotada de significats diversos segons els autors que han encunyat i generalitzat l'ús d'aquest concepte (GINÉS & GINÉS, 2009). Per una banda inclouria les cavitats originades per una alimentació hídrica profunda (KLIMCHOUK, 2007; FORD & WILLIAMS (2007), mentre que altres autors es refereixen als buits originats per

processos de dissolució diferents dels mecanismes de carstificació convencionals com, per exemple, els lligats a aportacions de CO_2 d'origen profund o a l'oxidació de H_2S (PALMER, 2007). Resulta fàcil constatar que ambdues interpretacions se solapen àmpliament, com succeeix en el cas de les coves hidrotermals, les quals poden ser considerades hipogèniques en les dues accepcions del terme, és a dir tant des del punt de vista hidrogeològic com del geoquímic.

En els turons centrals de Mallorca es localitza una singular i interessant cavitat, la Cova Nova de Son Lluís (Porreres), la qual exhibeix algunes morfologies que apunten cap a una possible gènesi hipogènica (GINÉS & GINÉS, 2006), probablement relacionada amb les anomalies geotèrmiques documentades al sector meridional de l'illa (LÓPEZ & MATEOS, 2006; LÓPEZ, 2007). La cova s'obre en materials plegats calcari-dolomítics del Retià, i es caracteritza per la presència de cambres i cúpules coalescents de formes aproximadament esfèriques, que configuren els sectors superiors de la cavitat. Cal indicar que les morfologies consistents en cambres isomètriques de fins a alguns metres de diàmetre, disposades sovint en estructures tridimensionals ramificades, són considerades formes característiques de l'espeleogènesi hidrotermal poc profunda (DUBLYANSKY, 2000, 2005); amb freqüència estan relacionades amb processos actius de condensació-corrosió lligats a la presència de llacs subterranis d'aigües termals (DUBLYANSKY & DUBLYANSKY, 2000; AUDRA *et al.*, 2009a, 2009b).

Dins d'un context geològic força diferent, el Pou de Can Carro –també conegut com la Cova de ses Sitjoles– es localitza en els materials postorogènics (Miocè superior i Pliocè) de la vora occidental de la depressió subsident de Campos. Es tracta d'un rosari de cúpules i cavitats verticals arrodonides, de plausible origen hipogènic, que en les seves cotes inferiors assoleixen una sala d'esfondrament on s'arriba al nivell freàtic.



Figura 6: Al sector central de la regió càrstica del Migjorn de Menorca són freqüents les formes subterrànies de drenatge excavades en relació amb importants barrancs fluviocàrstics (topografia extreta de TRIAS, 2004).

Figure 6: Caves consisting in drainage conduits formed in relation with important fluviokarstic canyons are common in the central sector of the Migjorn karst region, in Menorca Island (survey reproduced after TRIAS, 2004).

És precís assenyalar que les dues coves citades es troben entre les poques localitats de les Balears que presenten aquestes curioses i singulars morfologies. Aquest fet, tot junt amb el reconeixement d'altres indicis d'espeleogènesi hipogènica en l'endocarst litoral de la plataforma de Llucmajor –concretament a la Cova des Pas de Vallgornera (GINÉS *et al.*, 2009b), a la qual es farà referència més endavant– reforça la interpretació hidrotermal de les seves morfologies tan específiques.

Coves de la franja litoral

Aquesta quarta i última gran categoria està ben representada a pràcticament totes les illes de l'arxipèlag, òbviament en relació amb el caràcter costaner, en major o menor mesura, de la totalitat de les regions càrstiques de les Balears. Emperò, els millors exponents de les cavitats associades a la franja litoral es localitzen als dipòsits postorogènics del Miocè superior, presents a gairebé totes les illes, i molt en particular a la regió natural del Migjorn de Mallorca. En la categoria que ara ens ocupa s'inclou un ampli i interessant ventall de coves, l'origen i posterior evolució de les quals es troben condicionats –d'una manera directa o indirecta– per la

proximitat a la línia de costa. Es diferenciaren tres tipus de coves costaneres, a més de dos subtipus addicionals que s'emmarquen dins del grup de cavitats generades a la zona de mescla litoral (Taula I; Figura 1).

COVES DE LA ZONA DE MESCLA COSTANERA

Ja des de finals del XIX, les nombroses coves existents en els materials carbonatats del Miocè superior postorogènic del sud i llevant de Mallorca han atret l'atenció de viatgers i naturalistes, arran sobretot de les exploracions i descobertes efectuades fa més d'un segle en les Coves del Drac, al municipi de Manacor (MARTEL, 1896). Al llarg de les darreres dècades, s'ha anat suggerint per a aquestes coves un model genètic que contempla la formació d'uns buits primigenis, originats per dissolució en la zona freàtica litoral (GINÉS & GINÉS, 1992; GINÉS, 2000b; GINÉS *et al.*, 2008) a causa de l'agressivitat que es deriva de la mescla entre aigües continentals dolces i aigües marines, dins d'un context hidrogeològic d'elevada permeabilitat per mor d'una important porositat primària. Les cavitats freàtiques inicials experimentaren al llarg del Pleistocè esfonaments extensius de les voltes i parets (GINÉS & GINÉS, 2007), especialment durant les davallades glacio-eustàtiques del nivell marí; mentre que intenses fases

de deposició d'espeleotemes varen contribuir després a emmascarar les característiques dels buits primigenis. Cal remarcar, en aquest sentit, que la magnitud dels processos de col·lapse i reajustament mecànic de la massa rocosa condiciona gairebé del tot l'aparença actual d'aquest tipus de coves (Figura 7), al mateix temps que és responsable de la seva obertura al exterior per mitjà d'enfonsaments en superfície, o abisaments, de vegades ben espectaculars.

El patró planimètric de les coves d'aquesta tipologia denota la coalescència, un tant aleatòria, d'unitats d'esfondrament més o manco independents, que han anat creixent tridimensionalment i connectant unes amb les altres (GINÉS & GINÉS, 2007; GRÀCIA *et al.*, 2007), fins a donar lloc a una disposició en planta de caràcter *ramiforme* en el sentit enunciat per PALMER (2007). Aquest patró més aviat aleatori es veu fortament condicionat per la litologia dels dipòsits carbonatats del Miocè superior (GINÉS *et al.*, 2008, 2009c), essent possible observar-ho amb claredat en les fàcies de front d'escull, com a resultat de la dissolució extensiva de les construccions de coralls.

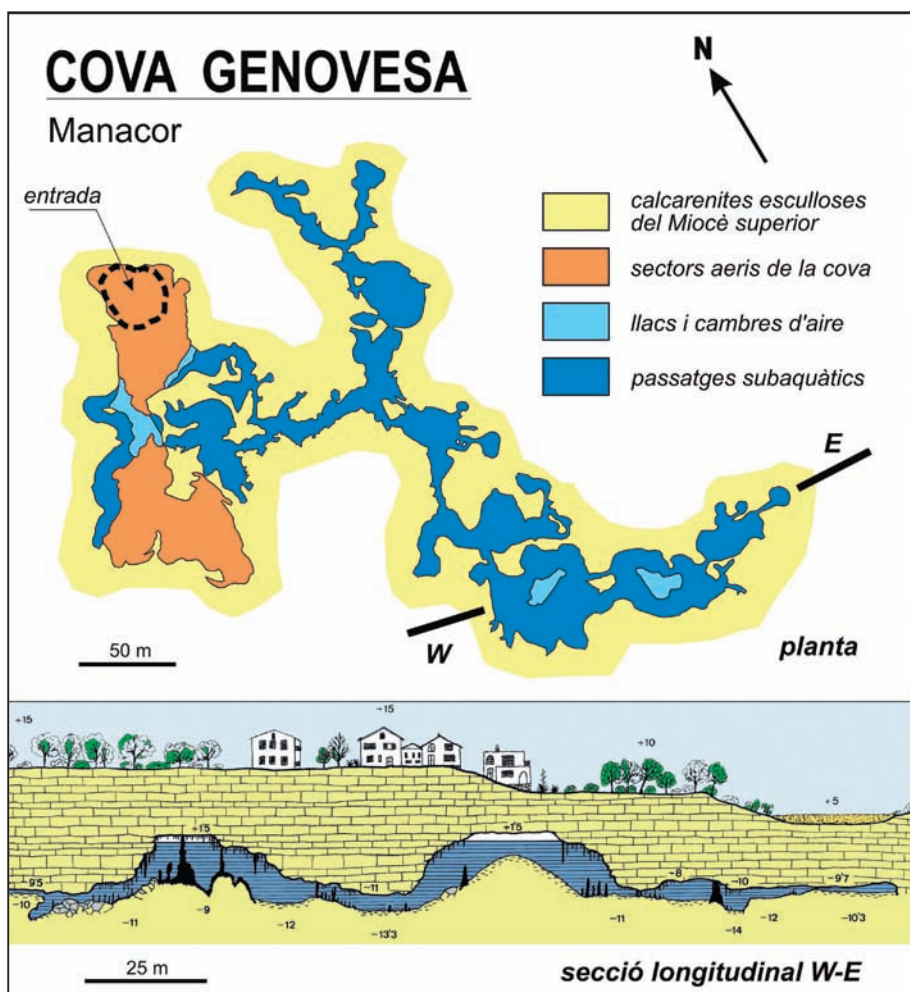
Les variacions del nivell marí durant el Quaternari, degudes a causes glacio-eustàtiques, han deixat empremtes diverses en la morfologia d'aquestes coves costaneres, afavorint la presència de reompliments es-

pecífics —espeleotemes freàtics, sediments detrítics litorals i bretxes ossíferes— de gran valor espeleocronològic i paleoambiental (GINÉS & GINÉS, 1995). Així mateix, cal remarcar que el nivell actual de la Mediterrània determina l'existència de llacs subterranis d'aigües freàtiques salabroses (Figura 8), que ocupen les cotes inferiors de les cavitats i es veuen afectats per oscil·lacions marines de reduïda escala temporal, com ara les mareas.

Encara que aquesta tipologia està representada a la pràctica totalitat de regions de les Balears, els exemples més il·lustratius es donen en les plataformes tabulars litorals constituïdes per materials calcaris del Miocè superior, concretament en el Migjorn de Mallorca i en els extrems oriental i occidental del Migjorn menorquí. Pel que fa a la major de les Balears, al municipi de Manacor es localitzen coves destacables com el sistema Pirata-Pont-Piqueta (TRIAS & MIR, 1977; GRÀCIA *et al.*, 2006), la Cova Genovesa o d'en Bessó (GRÀCIA *et al.*, 2003), o el sistema Gleda-Camp des Pou (GRÀCIA *et al.*, 2007, 2010a; GINÉS *et al.*, 2008); emperò, sens dubte l'exemple clàssic i gairebé paradigmàtic està constituït per les Coves del Drac, famosa cova turística que compta amb una extensa bibliografia que en fa referència (GINÉS & GINÉS, 1992, 2007). Quant a l'illa de Menorca, les cavitats més remarcables d'aquesta tipologia se situen a la zona de Cala Blanca, al municipi

Figura 7: En els materials calcaris postorogènics del Miocè superior es desenvolupen abundants cavitats litorals, afectades per processos de col·lapse generalitzats i parcialment negades després de la pujada holocènica del nivell marí (topografia simplificada segons GRÀCIA *et al.*, 2003). Aquestes cavitats són particularment extenses i abundants al Migjorn de Mallorca i a l'extrem sudoccidental de Menorca.

Figure 7: In the Upper Miocene post-orogenic limestones abundant littoral caves are developed, which are affected by extensive collapse processes and partially drowned after the Holocene sea level rise (simplified survey after GRÀCIA *et al.*, 2003). Such caves are particularly large and abundant in the Migjorn area of Mallorca and in the southwestern end of Menorca Island.



de Ciutadella, amb localitats com la Cova de s'Aigo, la Cova de na Megaré i la Cova des Màrmol (ARNAU *et al.*, 2008), i a l'extrem oriental del Migjorn menorquí com en el cas de la Cova de ses Figueres, al terme de Sant Lluís. En la petita illa de Formentera esmentarem tan sols la Cova de Can Ferrando (TRIAS, 1986b) i la Cova d'en Jeroni (BRISON, 2002), entre d'altres.

Xarxes freàtiques amb fort control estructural. És ben evident que els condicionants litològics influeixen de forma decisiva en la configuració morfològica de les cavitats excavades en el Miocè superior postorogènic de les Balears. Així, mentre en les fàcies de front d'escull dominen les formes de col·lapse lligades a la dissolució dels coralls, tal i com s'ha exposat més a dalt, en les fàcies corresponents a ambients de *lagoon* la permeabilitat associada a la fracturació adquireix major rellevància, en presentar aquests materials una porositat bastant més baixa (GINÉS *et al.*, 2008, 2009c). Dins d'aquesta línia, algunes localitats del Migjorn de Mallorca com la Cova des Coll, a Felanitx (GRÀCIA *et al.*, 2005), constitueixen extensos sistemes freàtics litorals on hi són actius els processos geoquímics de mescla d'aigües dolces i marines, però on així mateix és ben patent un fort control estructural (diàclasis i fractures en general) pel que fa a la disposició en planta de les cavitats. Amb una freqüència menor, els plans d'estratificació poden assolir un paper important en el desenvolupament d'algunes coves litorals, com succeeix a la Cova Figuera, a Manacor.

Es tractaria, en aquest cas, d'un subtipus de cova de la zona de mescla litoral, però caracteritzat per un patró planimètric (GINÉS *et al.*, 2009a) marcadament rectilini, força diferent en relació al caràcter *ramiforme*, abans descrit, de les coves excavades dins els materials escullosos. La tipologia que ens ocupa ara, es troba també representada a les calcàries plegades mesozoiques de les Serres de Llevant de Mallorca, així com

a l'illa de Formentera, on les Coves de Sant Val·lero formen una petita xarxa de caire laberíntic en els dipòsits carbonatats del Miocè superior (MONTORIOL-POUS & TERMES, 1965; TRIAS, 1983).

Coves marginals litorals. Tal vegada el tret més original de l'endocarst de Formentera consisteix en el que TRIAS (1983) anomena *coves de cingle*. Aquesta classe de cavitats és abundant en determinats indrets de l'illa, com són la Mola i el Cap de Barbaria, on consisteixen en coves de dimensions reduïdes o modestes (Figura 9) que reuneixen una sèrie de característiques ben definïdors: presenten boques àmplies que s'obren als penya-segats litorals; les seves plantes són allargassades i paral·leles als espadats costaners, comptant amb escassa penetració cap a l'interior del massís; normalment consten d'una sala principal de la que parteixen ramificacions de menor entitat; i dominen en tota la cavitat les morfologies de dissolució, mentre que els esfondraments de les voltes estan poc desenvolupats.

Aquesta classe de coves es correspon amb una remarcable precisió amb els caràcters morfològics propis de les *flank margin caves* descrites per MYLROIE & CAREW (1990). La gènesi del que aquí anomenem *coves marginals litorals* —efectuant una traducció lliure del terme original anglès— es relaciona també amb els processos de mescla associats a la perifèria de la lent d'aigua dolça que s'estableix a les illes calcàries. Per aquest motiu, les coves que tractem ara són considerades com un subtipus específic, prou individualitzat dins la tipologia de les coves de la zona de mescla costanera (GINÉS *et al.*, 2008).

Les coves marginals litorals són francament abundants a Formentera, on destaquen localitats com el complex de la Cova de ses Mamelles, la Cova des Forçats i d'altres cavitats de la Mola (TRIAS, & ROCA, 1975), o les diferents coves properes al Far de Barbaria (TRIAS,



Figura 8: A les coves litorals de tot l'arxipèlag abunden els llacs freàtics d'aigües salabroses, establerts en equilibri hidrodinàmic amb l'actual nivell marí. A la imatge s'observa un dels llacs de les Coves del Pirata (Manacor), una de les cavitats més representatives de l'endocarst del Migjorn de Mallorca (Foto: Antoni Merino).

Figure 8: Brackish phreatic pools, established in hydrodynamical equilibrium with the current sea level, are common in the littoral caves all along the Balearic archipelago. The picture shows one of the coastal phreatic pools in Coves del Pirata (Manacor), a very representative cave within the endocarst of Migjorn region in Mallorca Island (Photo: Antoni Merino).

Figura 9: Topografia d'una cova marginal litoral (*flank margin cave*) de la petita illa de Formentera, on aquesta tipologia es troba ben representada (segons TRIAS & ROCA, 1975).

Figure 9: Survey of a flank margin cave, typology that is relatively well-represented in the small island of Formentera (after TRIAS & ROCA, 1975).



1986b). A part de la seva abundància en la menor de les Pitiüses, l'única regió càrstica de les Balears que compta amb representació d'aquesta tipologia és el Migjorn de Menorca; concretament, en el seu sector central es localitza la Cova d'en Xoroi, al municipi d'Alaior (MURILLO, 1963; GINÉS & FORNÓS, 2004), la qual s'obre als penya-segats costaners de Cala en Porter i reuneix totes les característiques definitòries enunciades per a les coves marginals litorals.

XARXES FREÀTIQUES LITORALS AMB INFLUÈNCIES HIPOGÈNIQUES

Les exploracions recents en la Cova des Pas de Vallgornera (Llucmajor) han fet necessari distingir una tipologia nova que donés compte de les singularitats de l'esmentada cavitat (GINÉS & GINÉS, 2009), les quals es concreten en unes dades espeleomètriques espectaculars—més de 67 km de desenvolupament—i uns trets morfològics singulars en molts d'aspectes (MERINO *et al.*, 2006, 2007, 2008, 2009b; GINÉS *et al.*, 2008). En aquest sentit, la cova presenta una acusada disparitat planimètrica i morfològica en funció de les variacions litològiques del rocam del Miocè superior (GINÉS *et al.*, 2009c), però sobretot presenta una associació de formes i sediments que apunten cap a la participació de processos d'espeleogènesi hipogènica en l'excavació d'aquesta gran xarxa subterrània (GINÉS *et al.*, 2009b; FORNÓS *et al.*, 2010, 2011).

Les morfologies més específiques (i fins fa poc no observades a cap altra cavitat de les Balears) són els canals ascendents de dissolució de diverses mides (MERINO & FORNÓS, 2010), assimilables a alguns dels *rising wall channels* de KLIMCHOUK (2007) o als *bubble trails* documentats per PALMER (2007) i AUDRA *et al.*, (2009b, 2009c). Aquestes formes són originades

per fluxos ascendents d'aigües agressives, que tenen lloc en la zona epifreàtica en relació amb processos de desgasificació d'aigües no meteòriques de procedència profunda (Figura 10). Els minerals poc freqüents, que apareixen associats a algunes d'aquestes morfologies, semblen recolzar la participació de processos hipogènics en l'excavació de la cova (MERINO *et al.*, 2009a).

La Cova des Pas de Vallgornera és, sense discussió, un cas del tot singular dins l'endocarst del Migjorn de Mallorca, que ens ha portat a considerar la plataforma de Llucmajor com una subregió càrstica individualitzada (Taula I). Aquesta gran xarxa subterrània pareix obeir a l'actuació conjunta de diferents mecanismes espeleogenètics: els processos de dissolució lligats a la zona de mescla litoral, una gens menyspreable recàrrega superficial de origen meteòric, i una alimentació hídrica de caràcter hipogènic—*sensu* KLIMCHOUK (2007)— associada als fenòmens geotermals recentment documentats al sud de Mallorca (LÓPEZ & MATEOS, 2006; LÓPEZ, 2007). Malgrat no es coneixen fins al present altres cavitats d'aquestes mateixes característiques, tal vegada sigui convenient fer referència a l'estrany desenvolupament topogràfic tridimensional que mostra la Cova de sa Guitarreta, també al municipi de Llucmajor (MIR, 1974). Encara que aquesta localitat actuï avui en dia com a engolidor de les precipitacions, la seva gènesi podria haver estat influenciada per una alimentació hipogènica basal relacionada amb les anomalies geotèrmiques existents a la zona; no obstant això, no s'observen a la citada cova formes diagnòstiques que suportin de manera inequívoca aquesta interpretació. A més a més, convé tenir present les morfologies—cúpules, rosaris de buits rodonencs—descrites més enrere en parlar del Pou de Can Carro (al municipi de Campos), les quals també recolzarien la rellevància de l'espeleogènesi hipogènica en aquests sectors de la Mallorca meridional.



Figura 10: La Cova des Pas de Vallgornera (Llucmajor), situada al litoral meridional de Mallorca, mostra morfologies ascendents de dissolució que denoten la participació de processos d'espeleogènesi hipogènica (Foto: Antoni Merino).

Figure 10: In the inner part of Cova des Pas de Vallgornera (Llucmajor), located in the southern coastal area of Mallorca, solutional rising morphologies are substantial evidences regarding the involvement of hypogenic speleogenetic processes (Photo: Antoni Merino).

Finalment cal citar les recents troballes efectuades a la Cova de s'Ònix, situada als voltants de Portocristo, a prop de les turístiques Coves dels Hams. En les seves sales inferiors, que es desenvolupen ja dins el basament mesozoic plegat (GINÉS *et al.*, 2007), s'han documentat morfologies, i sobretot dipòsits singulars, que podrien posar de manifest la participació de processos hipogènics en la morfogènesi d'aquesta interessant localitat.

CAPTURES CÀRSTICO-MARINES

En les costes calcàries és ben freqüent l'existència de cavitats que s'obren en les proximitats de la línia de costa, com a conseqüència de l'actuació dels processos lligats a la dinàmica litoral. A més de les coves originades per l'acció erosiva –majoritàriament mecànica– de les aigües marines, abunda als litorals de tot l'arxipèlag una tipologia de cavitats que són el resultat d'una gènesi mixta relacionada amb el caràcter carbonatat de les costes de les Balears. Ens referim al que MONTORIOL-POUS (1971, 1972) denomina *captures càrstico-marines*, que consisteixen en coves d'un clar d'origen càrstic afectades en major o menor mesura pels mecanismes d'erosió costanera (Figura 11).

De vegades es tracta de cavitats de gènesi càrstica, però amb l'orifici d'accés obert gràcies a l'actuació de la dinàmica litoral, tal i com succeeix a la Cova de na Mitjana (GINÉS *et al.*, 1975; GINÉS, 2000b) i a la Cova de na Barxa (ANDREWS *et al.*, 1989), al municipi de Capdepera, o a nombroses localitats de la zona de Cala Varques i Cala Falcó, al municipi de Manacor (TRIAS & MIR, 1977; TRIAS, 1992; GINÉS, 2000b; GRÀCIA *et al.*, 2010b). En altres ocasions, s'observen aparells endocàrstics gairebé desmantellats del tot per mor de l'evolució morfològica de la línia de costa, com en el cas de la Cova Marina des Pont, a Manacor (TRIAS & MIR, 1977). En aquest tipus de cavitats litorals abunden els dipòsits sedimentaris, sovint força complexos, en els quals s'intercalen seqüències d'espeleotemes amb bretxes ossíferes i materials detrítics marins, constituint registres de gran interès espeleocronològic (GINÉS & GINÉS, 1995; GINÉS, 2000b).

Es pot afirmar que les captures càrstico-marines constitueixen una tipologia ubiqua a les diferents regions càrstiques de l'arxipèlag. Malgrat que els exemples abans esmentats corresponen a la costa oriental mallorquina, cavitats d'aquesta classe són abundants a l'illa de Menorca, sobretot a la regió del Migjorn (GINÉS & FORNÓS, 2004), encara que les costes de la Tramuntana menorquina també compten amb localitats dignes de menció, com la Cova de na Polida de Fornells (MONTORIOL-POUS & ASSENS-CAPARRÓS, 1957). En les Pitiüses, destaca la petita illa de Formentera, en la qual les coves on interfereixen la carstificació i el modelat litoral estan ben representades (MONTORIOL-POUS & TERMES, 1965; TRIAS, 1983, 1986b).

Distribució geogràfica de les tipologies proposades

Les quatre categories morfogenètiques que s'han establert, i els quinze tipus i subtipus de cavitats que les integren, presenten una distribució gens homogènia en les diverses regions càrstiques de les Balears, en raó dels diferents contextos geològics i hidrogeològics que es donen en cadascuna d'elles. S'ha procurat sintetitzar de manera gràfica en la Figura 1 les observacions abans exposades, aportant una visió intuïtiva de com es distribueixen les diverses tipologies al llarg d'una sèrie de perfils idealitzats de Mallorca, Menorca i Formentera; la Tramuntana de Menorca i l'illa d'Eivissa no compten amb representació a l'esmentada gràfica, en raó de la pobresa relativa i de les afinitats morfogenètiques amb les àrees muntanyoses de Mallorca.

Convé recordar novament que la Taula I constitueix de fet el nucli d'aquest treball i resumeix de manera adequada el contingut de la classificació establerta i la distribució geogràfica de les tipologies que han estat diferenciades. Aquesta taula inclou una valoració relativa del grau de representació dels distints tipus i subtipus de cavitats en les regions càrstiques de les Balears, expressant-se per a cadascuna d'elles la seva *abundància* significativa o tan sols la *presència* ocasional. El

subarxipèlag de Cabrera i l'illa de la Dragonera s'han considerats pertanyents, respectivament, a les regions càrstiques de les Serres de Llevant i de la Serra de Tramuntana de l'illa de Mallorca. Val a dir que quan una tipologia és francament rara dins una regió concreta ha estat considerada com a no present en ella; aquest criteri no s'ha aplicat en el cas de les coves amb característiques hipogèniques, que compten tan sols amb dos exemples clars en dues regions distintes però que representen evidències espeleogenètiques del tot singulars. En la ja esmentada Taula I s'han remarcat amb colors diferenciats algunes columnes que corresponen a regions càrstiques prou individualitzades, en base als conjunts de tipologies presents en les diverses unitats territorials. Així mateix, s'han assenyalat amb un fons color magenta clar aquelles tipologies que suposen singularitats morfogenètiques d'algunes regions concretes de l'endocarsl balear.

Pel que fa als trets específics de les àrees geogràfiques considerades –els quals apareixen reflectits

a les ja comentades Taula I i Figura 1– es fa palesa l'existència de diferències notables entre elles, que cal resumir a continuació. Per una banda, destaquen els relleus muntanyosos de la Serra de Tramuntana de Mallorca, on es constata un predomini del avencs vadosos i de les coves de la zona vadosa, així com bons exemples de coves freàtiques no litorals; les àrees plegades d'Eivissa i de la Tramuntana menorquina, amb materials carstificables majoritàriament mesozoics, mostren unes característiques semblants malgrat presentar una riquesa de formes subterrànies molt menor. Per altra banda, als materials carbonatats del Miocè superior postorogènic de Mallorca, Menorca i Formentera resulten dominants les diverses tipologies de coves de la franja litoral, encara que amb acusades diferències entre elles. En aquest sentit les coves del Migjorn de Mallorca presenten unes analogies importants amb les cavitats dels sectors occidental i oriental del Migjorn menorquí, mentre que el sector central queda clarament individualitzat per mor dels processos espeleogenètics lligats a l'excavació



Figura 11: Planta i perfil longitudinal d'una captura càrstico-marina de la zona septentrional de Menorca, modificat a partir de MONTORIOL-POUS & ASSENS-CAPARRÓS (1957).

Figure 11: Plan view and longitudinal profile of a mixed marine-karstic cave in the northern coast of Menorca Island, modified from MONTORIOL-POUS & ASSENS-CAPARRÓS (1957).



Figura 12: Una rica decoració d'espeleotemes caracteritza l'endocars de les Illes Balears, i està present a tots els tipus de coves i avencs de l'arxipèlag. Vista d'una de les sales de la Cova de Cornavaques (Pollença), on destaquen alguns espectaculars massissos estalagmítics (Foto: Gabriel Santandreu).

Figure 12: A very rich speleothems decoration characterizes the endokarst of the Balearic Islands, being extensive to all the cave and shaft typologies distinguished within the archipelago. View of a chamber in Cova de Cornavaques (Pollença), where some outstanding stalagmitic massifs are displayed (Photo: Gabriel Santandreu).

dels importants canyons fluvio càrstics d'aquesta part de Menorca. Finalment, l'illa de Formentera compta amb nombroses cavitats litorals en els dipòsits calcaris del Miocè superior, però amb la peculiaritat destacable que suposa l'abundància del que designem com a coves marginals litorals. Una menció a part mereixen les coves hipogèniques, que es troben representades en Mallorca per molt poques localitats situades en els turons de les Serres de Llevant i en la plataforma litoral de Llucmajor, arribant fins i tot a la depressió de Campos; en ambdós casos, les cavitats semblen estar relacionades amb els fenòmens geotermals de la zona sud-occidental del Migjorn de Mallorca.

Valorades en el seu conjunt, les més de tres mil cavitats conegudes a les Illes Balears són de dimensions més aviat modestes, encara que unes poques coves de la regió del Migjorn de Mallorca superen els 5 km de recorregut, comptant amb l'esmentat màxim de 67 km de la Cova des Pas de Vallgornera. La profunditat màxima que assoleixen les cavitats supera de molt poc els 300 m de desnivell a alguns avencs i coves de la Serra de Tramuntana, com succeeix a l'Avenc del Puig Caragoler i a la Cova de sa Campana, ambdues localitats situades al terme d'Escorca. A més de la notable decoració d'espeleotemes que caracteritza al món subterrani de les Balears (Figura 12) i de les dimensions destacables d'algunes coves litorals de l'arxipèlag –en particular de

l'illa de Mallorca–, tal vegada l'aspecte més notori de l'endocars de les nostres illes consisteix en els importants fets diferencials que es donen entre les seves regions naturals. Aquests trets diferencials es materialitzen per una banda en un molt bon exemple de carst mediterrani de mitja muntanya –la Serra de Tramuntana mallorquina– en clara contraposició amb uns esplèndids carsts eogenètics litorals, desenvolupats en la plataforma post-orogènica del sud i llevant de Mallorca, així com en el Migjorn de Menorca i en la petita illa de Formentera.

Agraïments

Aquesta classificació s'ha vist beneficiada per les discussions i intercanvis d'informacions efectuats amb diversos amics i col·legues, i molt especialment amb: Damià Crespi, Joan J. Fornós, Francesc Gràcia, Antoni Merino i Miquel Trias. Les fotografies que il·lustren aquestes pàgines ens han estat amablement subministrades per Gabriel Santandreu, Antoni Merino i Bogdan Onac. Agraïm així mateix a Miquel Trias i Francesc Gràcia les facilitats brindades per a la reproducció d'algunes de les topografies incloses en el present treball. El present treball s'emmarca dins el projecte de recerca CGL2010-18616/BTE, finançat pel Ministerio de Ciencia e Innovación.

Bibliografia

- ALCOVER, J.A.; RAMIS, D.; COLL, J. & TRIAS, M. (2001): Bases per al coneixement del contacte entre els primers colonitzadors humans i la naturalesa de les Balears. *Endins*, 24: 5-57.
- ANDREWS, J.N.; GINÉS, A.; PONS-MOYÀ, J.; SMART, P.L. & TRIAS, M. (1989): Noves dades sobre el jaciment paleontològic de la Cova de na Barxa (Capdepera, Mallorca). *Endins*, 14-15: 17-25.
- ARNAU, P.; LAÍNEZ, N.; ZUBILLAGA, M. & GÓMEZ, D. (2008): Les coves de Cala Blanca (Ciutadella de Menorca). *Endins*, 32: 105-138.
- AUDRA, P.; MOCOCHAIN, L.; BIGOT, J.Y. & NOBÉCOURT, J.C. (2009a): Hypogene cave patterns. In: KLIMCHOUK, A.B. & FORD, D.C. (eds.) *Hypogene speleogenesis and karst hydrogeology of artesian basins*. Ukrainian Institute of Speleology and Karstology, Special Paper 1: 17-22. Simferopol, Ucraïna.
- AUDRA, P.; MOCOCHAIN, L.; BIGOT, J.Y. & NOBÉCOURT, J.C. (2009b): Morphological indicators of speleogenesis: hypogenic speleogens. In: KLIMCHOUK, A.B. & FORD, D.C. (eds.) *Hypogene speleogenesis and karst hydrogeology of artesian basins*. Ukrainian Institute of Speleology and Karstology, Special Paper 1: 23-32. Simferopol, Ucraïna.
- AUDRA, P.; MOCOCHAIN, L.; BIGOT, J.Y. & NOBÉCOURT, J.C. (2009c): The association between bubble trails and folia: a morphological and sedimentary indicator of hypogenic speleogenesis by degassing, example from Adaouste Cave (Provence, France). *International Journal of Speleology*, 38 (2): 93-102.
- BARRERES, M.; FERRERES, J. & CARDONA, F. (1976): La cueva de sa Campana y el karst de Castellots. *Speleon*, 22: 43-74.
- BENYSEK, L. (1988): Italy, Spain '87 [Cova dets Estudiants]. *Speleoforum*, 88: 51-52.
- BÖGLI, A. (1980): *Karst hydrology and physical speleology*. Springer-Verlag. 284 pp. Berlín.
- BOVER, P.; GINARD, A.; CRESPI, D.; VICENS, D.; VADELL, M.; SERRA, J.; SANTANDREU, G. & BARCELÓ, M.A. (2004): Les cavitats de la Serra de na Burguesa. Zona 6: la mineria a la Serra d'en Marill (Palma, Mallorca). *Endins*, 26: 59-82.
- BRISON, D.N. (2002): Dans les grottes perchées de Formentera (Balears). *Grottes et Gouffres*, 158: 7-17.
- CAÑIGUERAL, J. (1949): Las Cuevas de Campanet (Mallorca). *Ibérica*, 156: 178-182 199.
- CORRIGAN, J. (1998): Cave diving Mallorca style [Font des Verger]. *Caves & Caving*, 79: 24-25.
- DUBLYANSKY, Y.V. (2000): Hydrothermal speleogenesis: its settings and peculiar features. In: KLIMCHOUK, A.B.; PALMER, A.N.; FORD, D.C. & DREYBRODT, W. (eds.) *Speleogenesis. Evolution of karst aquifers*. National Speleological Society. 292-297. Huntsville, USA.
- DUBLYANSKY, Y.V. (2005): Hydrothermal caves. In: CULVER, D.C. & WHITE, W.B. (eds.) *Encyclopedia of caves*. Elsevier, Academic Press. 300-305. Burlington, USA.
- DUBLYANSKY, Y.V. & DUBLYANSKY, Y.V. (2000): The role of condensation in karst hydrogeology and speleogenesis. In: KLIMCHOUK, A.B.; PALMER, A.N.; FORD, D.C. & DREYBRODT, W. (eds.) *Speleogenesis. Evolution of karst aquifers*. National Speleological Society. 100-112. Huntsville, USA.
- ENCINAS, J.A. (1972): Contribuyendo al estudio del karst del valle de Sant Vicenç de Pollença (Mallorca). *Espeleogénesis y espeleografía. Geo y Bio Karst*, 31: 15-22.
- ENCINAS, J.A. (1994): Últimas exploraciones. Balears. [Cova de Can Sion]. *Subterrànea*, 2: 5-6.
- ENCINAS, J.A. (1995): Es Crull de ses Termes. *Subterrànea*, 4: 27-29.
- ENCINAS, J.A.; LLOBERA, M. & LLOBERA, P.J. (1974): Introducción a una clasificación espeleogénica de las cuevas y simas de Mallorca (Balears). *Endins*, 1: 3-10.
- FORD, D.C. & WILLIAMS, P.W. (2007): *Karst hydrogeology and geomorphology*. John Wiley & Sons Ltd. 562 pp. Chichester, UK.
- FORNÓS, J.J.; GINÉS, A.; GINÉS, J.; GRÀCIA, F.; MERINO, A.; CIFRE, J. & HIERRO, F. (2010): Hypogene speleogenetic evidences in the development of Cova des Pas de Vallgornera (Mallorca Island, Western Mediterranean). In: ANDREO, B.; CARRASCO, F.; DURÁN, J.J. & LAMOREAUX, J.W. (eds.) *Advances in research in karst media*. Springer-Verlag. Environmental Earth Sciences Series. 349-354. Berlín.
- FORNÓS, J.J.; MERINO, A.; GINÉS, J.; GINÉS, A. & GRÀCIA, F. (2011): Solutional features and cave deposits related to hypogene speleogenetic processes in a littoral cave of Mallorca Island (western Mediterranean). *Carbonates and Evaporites*, 26 (1): 69-81.
- GELABERT, B. (2003): La estructura geológica de Menorca: las zonas de Tramuntana y Migjorn. In: ROSSELLÓ, V.M.; FORNÓS, J.J. & GÓMEZ-PUJOL, L. (eds.) *Introducción a la Geografía Física de Menorca. Guía de campo de las XVIII Jornadas de Geografía Física*. AGE - Universitat de València - Mon. Soc. Hist. Nat. Balears, 10: 39-48. Palma.
- GEZE, B. (1953): La genèse des gouffres. *1er. Cong. Intern. Spéléol.* 2: 11-23. París.
- GINÉS, A. (2000a): Patterns of collapse chambers in the endokarst of Mallorca (Balearic islands, Spain). *Acta Carsologica*, 29 (2): 139-148.
- GINÉS, A. & GINÉS, J. (1987): Características espeleológicas del karst de Mallorca. *Endins*, 13: 3-19.
- GINÉS, A. & GINÉS, J. (1992): Las Coves del Drac (Manacor, Mallorca). Apuntes històrics y espeleogenéticos. *Endins*, 17-18: 5-20.
- GINÉS, A. & GINÉS, J. (2007): Eogenetic karst, glacioeustatic cave pools and anchialine environments on Mallorca Island: a discussion of coastal speleogenesis. *International Journal of Speleology*, 36 (2): 57-67.
- GINÉS, A.; GINÉS, J.; GRÀCIA, F. & FORNÓS, J.J. (2009a): Cave surveying and cave patterns in the southeastern coastal karst of Mallorca Island (Spain). In: WHITE, W.B. (ed.) *Proc. 15th Int. Congress Speleol.*, 1: 488-495. Kerville, U.S.A.
- GINÉS, A.; GINÉS, J. & PONS-MOYÀ, J. (1975): Nuevas aportaciones al conocimiento morfológico y cronológico de las cavernas costeras mallorquinas. *Speleon. Monografía I, V Symposium de Espeleología, Cuaternario*. Escola Catalana d'Espeleologia. 49-56. Barcelona.
- GINÉS, J. (1995): L'endocast de Mallorca: els mecanismes espeleogenètics / Mallorca's endokarst: the speleogenetic mechanisms. In: GINÉS, A. & GINÉS, J. (eds.) *El karst i les coves de Mallorca / Karst and caves in Mallorca*. *Endins*, 20 / Mon. Soc. Hist. Nat. Balears, 3: 71-86. Palma.
- GINÉS, J. (2000b): *El karst litoral en el levante de Mallorca: una aproximación al conocimiento de su morfogénesis y cronología*. Tesi Doctoral. Departament de Ciències de la Terra, Universitat de les Illes Balears. 595 pp + 29 llams. Inèdita.
- GINÉS, J. & FORNÓS, J.J. (2004): 16. Caracterització del karst del Migjorn: la seva contribució al modelat del territori. In: FORNÓS, J.J.; OBRADOR, A. & ROSSELLÓ, V.M. (eds.) *Història natural del Migjorn de Menorca: el medi físic i l'influx humà*. Mon. Soc. Hist. Nat. Balears, 11: 259-274. Palma.
- GINÉS, J. & GINÉS, A. (1974): Estudio estadístico de las cavernas de Mallorca. *Endins*, 1: 11-16.
- GINÉS, J. & GINÉS, A. (1989): El karst en las islas Baleares. In: DURÁN, J.J. & LÓPEZ, J. (eds.) *El karst en España*. Sociedad Española de Geomorfología, Monografía nº 4: 163-174. Madrid.
- GINÉS, J. & GINÉS, A. (1995): Aspectes espeleocronològics del karst de Mallorca / Speleochronological aspects of karst in Mallorca. In: GINÉS, A. & GINÉS, J. (eds.) *El karst i les coves de Mallorca / Karst and caves in Mallorca*. *Endins*, 20 / Mon. Soc. Hist. Nat. Balears, 3: 99-112.
- GINÉS, J. & GINÉS, A. (2004): Bibliografia actualitzada sobre espeleologia física i karst de les Illes Balears. *Endins*, 26: 125-142.
- GINÉS, J. & GINÉS, A. (2006): La Cova Nova de Son Lluís (Porreres, Mallorca). Notes sobre aspectes històrics i geoespeleològics. *Endins*, 29: 5-24.
- GINÉS, J. & GINÉS, A. (2009): Proposta d'una nova classificació morfogenètica de les cavitats càrstiques de l'illa de Mallorca. *Endins*, 33: 5-18.
- GINÉS, J.; BORRÀS, L. & GINÉS, A. (1980): Estudi geo-espeleològic del massís del Massanella (Escorca, Mallorca). 1— Les cavitats del Puig den Galileu. *Endins*, 7: 3-16.
- GINÉS, J.; BORRÀS, L. & GINÉS, A. (1982): Estudi geo-espeleològic del massís del Massanella (Escorca, Mallorca). 3— Les cavitats del Puig de Massanella. *Endins*, 9: 3-13.
- GINÉS, J.; FORNÓS, J.J.; TRIAS, M.; GINÉS, A. & SANTANDREU, G. (2007): Els fenòmens endocàrstics de la zona de Ca n'Olesa: la Cova de s'Ònix i altres cavitats veïnes (Manacor, Mallorca). *Endins*, 31: 5-30.
- GINÉS, J.; GINÉS, A.; FORNÓS, J.J.; GRÀCIA, F. & MERINO, A. (2008): Noves observacions sobre l'espeleogènesi en el Migjorn de Mallorca: els condicionants litològics en alguns grans sistemes subterranis litorals. *Endins*, 32: 49-79.
- GINÉS, J.; GINÉS, A.; FORNÓS, J.J.; MERINO, A. & GRÀCIA, F. (2009b): On the role of hypogene speleogenesis in shaping the coastal endokarst of southern Mallorca (Western Mediterranean). In: KLIMCHOUK, A.B. & FORD, D.C. (eds.) *Hypogene speleogenesis and karst hydrogeology of artesian basins*. Ukrainian Institute of Speleology and Karstology, Special Paper 1: 91-99. Simferopol, Ucraïna.

- GINÉS, J.; GINÉS, A.; FORNÓS, J.J.; MERINO, A. & GRÀCIA, F. (2009c): About the genesis of an exceptional coastal cave from Mallorca Island (Western Mediterranean). The lithological control over the pattern and morphology of Cova des Pas de Vallgornera. In: WHITE, W.B. (ed.) *Proc. 15th Int. Congress Speleol.*, 1: 481-487. Kerrville, U.S.A.
- GRÀCIA, F.; CLAMOR, B.; FORNÓS, J.J.; JAUME, D. & FEBRER, M. (2006): El sistema Pirata - Pont - Piqueta (Manacor, Mallorca): geomorfologia, espeleogènesi, hidrologia, sedimentologia i fauna. *Endins*, 29: 25-64.
- GRÀCIA, F.; CLAMOR, B.; GAMUNDÍ, P. & FORNÓS, J.J. (2010a): El sistema de cavitats Gleda - Camp des Pou (Manacor, Mallorca). *Endins*, 34: 35-68.
- GRÀCIA, F.; CLAMOR, B.; JAUME, D.; FORNÓS, J.J.; URIZ, M.J.; MARTÍN, D.; GIL, J.; GRÀCIA, P.; FEBRER, M. & PONS, G.X. (2005): La Cova des Coll (Felanitx, Mallorca): espeleogènesi, geomorfologia, hidrologia, sedimentologia, fauna i conservació. *Endins*, 27: 141-186.
- GRÀCIA, F.; FORNÓS, J.J.; CLAMOR, B.; FEBRER, M. & GAMUNDÍ, P. (2007): La Cova de sa Gleda I. Sector Clàssic, Sector de Ponent i Sector Cinc-Cents (Manacor, Mallorca): geomorfologia, espeleogènesi, sedimentologia i hidrologia. *Endins*, 31: 43-96.
- GRÀCIA, F.; GAMUNDÍ, P.; CLAMOR, B.; TRIAS, M.; FORNÓS, J.J.; FEBRER, M. & POCOVÍ, J. (2010b): Noves aportacions a l'estudi de les cavitats de Cala Falcó - Cala Varques (Manacor, Mallorca). *Endins*, 34: 141-154.
- GRÀCIA, F.; JAUME, D.; RAMIS, D.; FORNÓS, J.J.; BOVER, P.; CLAMOR, B.; GUAL, M.A. & VADELL, M. (2003): Les coves de Cala Anguila (Manacor, Mallorca). II: La Cova Genovesa o Cova d'en Bessó. Espeleogènesi, geomorfologia, hidrologia, sedimentologia, fauna, paleontologia, arqueologia i conservació. *Endins*, 25: 43-86.
- GRUP ESPELEOLÒGIC EST (1982): *Avenc de s'Aigo* (Escorca, Mallorca). *Endins*, 9: 37-40.
- GRUP ESPELEOLÒGIC EST (1986): *S'Era d'Escorca* (Escorca, Mallorca) i algunes cavitats veïnes. *Endins*, 12: 3-11.
- GRUP NORD DE MALLORCA (1973): Observaciones sobre la Font de l'Algaret (Pollensa, Balears). *III Simposium Espeleologia*. Escola Catalana d'Espeleologia - Agrupació Científica Excursionista de Mataró. 92-99. Mataró, Barcelona.
- HESS, J.H. (2005): Pits and shafts. In: CULVER, D.C. & WHITE, W.B. (eds.) *Encyclopedia of caves*. Elsevier, Academic Press. 444-447. Burlington, USA.
- KLIMCHOUK, A.B. (2007): *Hypogene speleogenesis: hydrogeological and morphogenetic perspectives*. National Cave and Karst Research Institute. Special Paper 1. 106 pp. Carlsbad, USA.
- KLIMCHOUK, A.B.; FORD, D.C.; PALMER, A.N. & DREYBRODT, W. (2000): *Speleogenesis. Evolution of karst aquifers*. National Speleological Society. 527 pp. Huntsville, USA.
- LLOPIS-LLADÓ, N. & THOMAS-CASAJUANA, J.M. (1948): La hidrologia càrstica de los alrededores de Campanet (Inca - Mallorca). *Miscelánea Almera*, 2ª parte. Publ. Inst. Geol. Dip. Prov. Barc., 7: 39-60. Barcelona.
- LÓPEZ, J.M. (2007): *Las manifestaciones hidrotermales del sur de Llucmajor, Mallorca*. Memòria d'Investigació. Departament de Ciències de la Terra, Universitat de les Illes Balears. 132 pp. Inèdita.
- LÓPEZ, J.M. & MATEOS, R.M. (2006): Control estructural de las anomalías geotérmicas y la intrusión marina en la plataforma de Llucmajor y la cubeta de Campos (Mallorca). *Las aguas subterráneas en los países Mediterráneos*. Instituto Geológico y Minero de España. Serie Hidrogeología y Aguas Subterráneas, 17: 607-613. Madrid.
- MARTEL, E.A. (1896): *Sous Terre*. Cueva del Drach, à Majorque. *Ann. Club Alpin Franc.*, 23: 1-32.
- MAUCCI, W. (1952): L'ipotesi dell'erosione inversa come contributo allo studio della speleogenesi. *Boll. Soc. Adriat. Scienze Nat. Trieste*, 46: 1-60.
- MERINO, A. & FORNÓS, J.J. (2010): Los conjuntos morfológicos de flujo ascendente (Morphological Suite of Rising Flow) en la Cova des Pas de Vallgornera (Llucmajor, Mallorca). *Endins*, 34: 87-102.
- MERINO, A.; FORNÓS, J.J. & ONAC, B.P. (2009a): Preliminary data on mineralogical aspects of cave rims and vents in Cova des Pas de Vallgornera, Mallorca. In: WHITE, W.B. (ed.) *Proc. 15th Int. Congress Speleol.*, 1: 307-311. Kerrville, U.S.A.
- MERINO, A.; MULET, A. & MULET, G. (2006): La Cova des Pas de Vallgornera: 23 kilòmetres de desenvolupament topogràfic (Llucmajor, Mallorca). *Endins*, 30: 29-48.
- MERINO, A.; MULET, A.; MULET, G.; CROIX, A. & GRÀCIA, F. (2007): La Cova des Pas de Vallgornera (Llucmajor, Mallorca): 40 kilòmetres de desenvolupament topogràfic. *Endins*, 31: 101-110.
- MERINO, A.; MULET, A.; MULET, G.; CROIX, A. & GRÀCIA, F. (2008): La Cova des Pas de Vallgornera (Llucmajor, Mallorca): alcanza los 55 kilòmetres de desenvolupament topogràfic. *Endins*, 32: 33-42.
- MERINO, A.; MULET, A.; MULET, G.; CROIX, A. & GRÀCIA, F. (2009b): Cova des Pas de Vallgornera: an exceptional littoral cave from Mallorca Island (Spain). In: WHITE, W.B. (ed.) *Proc. 15th Int. Congress Speleol.*, 1: 522-527. Kerrville, U.S.A.
- MIR, F. (1974): La Cova de sa Guitarreta (Llucmajor, Mallorca) i la importància de les seves condicions faunístiques. *IV Simposium Bioespeleologia*. Escola Catalana d'Espeleologia - Grup Espeleològic Pedraforca. 103-106. Barcelona.
- MIR, F. & TRIAS, M. (1973): Sobre el karst de la Cova de sa Campana i les seves concrecions excèntriques. *III Simposium Espeleologia*. Escola Catalana d'Espeleologia - Agrupació Científica Excursionista de Mataró. 53-70. Mataró, Barcelona.
- MONTORIOL-POUS, J. (1951): Los procesos clásticos hipogeos. *Rassegna Speleol. Italiana*, 3 (4): 119-129.
- MONTORIOL-POUS, J. (1971): Nota sobre la gènesis de la Foradada (Conejera, Balears). *Geo y Bio Karst*, 28: 17-19.
- MONTORIOL-POUS, J. (1972): Estudio de una captura kárstica-marina en la isla de Cabrera. *Acta Geológica Hispánica*, 6 (4): 89-91.
- MONTORIOL-POUS, J. & ASSENS-CAPARRÓS, J. (1957): Estudio geomorfológico e hidrogeológico del karst de la península de s'Albufereta (Fornells, Menorca). *Rass. Esp. Italiana*, 9 (1): 3-48.
- MONTORIOL-POUS, J. & TERMES, F. (1965): Les grottes de l'île de Formentera (Baléares) et leurs relations avec les oscillations de la Méditerranée. *Compte Rendu IV Colloque International de Spéléologie, Athènes 1963*. 180-194. Atenes.
- MORRO, J.A. & MORRO, J.R. (1972): Cova de Can Pessó. *II Simp. Metod. Espel. Topografia*. Escuela Catalana de Espeleologia - S.I.E. del C.E.A. Com. VI-j. 3 pp. Barcelona.
- MURILLO, A. (1963): La cueva den Xoroi. *Revista de Menorca*, 3: 327-342.
- MYLROIE, J.E. & CAREW, J.L. (1990): The flank margin model for dissolution cave development in carbonate platforms. *Earth Surface Processes and Landforms*, 15: 413-424.
- PALMER, A.N. (2007): *Cave Geology*. Cave Books. 454 pàgs. Dayton, Ohio, USA.
- PLOMER, T. & GINÉS, J. (2008): L'Avenc del Puig Caragoler (Escorca, Mallorca). *Endins*, 32: 11-22.
- PONS-MOYÀ, J.; MOYÀ-SOLÀ, S. & KOPPER, J.S. (1979): La fauna de mamífers de la Cova de Canet (Esporles) y su cronología. *Endins*, 5-6: 55-58.
- RENAULT, P. (1967): Contribution à l'étude des actions mécaniques et sédimentologiques dans la spéléogénèse. Première partie. *Annales de Spéléologie*, 22 (2): 211-267.
- RIPOLL, F. & ROCA, L. (1974): Algunas observaciones sobre sa Font des Verger y su funcionamiento hidrológico. *Endins*, 1: 21-24.
- ROMERO, M. (1975): Notícia de la Cova dels Estudiants (Sóller, Mallorca). *Endins*, 2: 35-37.
- THOMAS-CASAJUANA, J.M. & MONTORIOL-POUS, J. (1952a): Son Pou (Mallorca). *Speleon*, 3 (3): 109-130.
- THOMAS-CASAJUANA, J.M. & MONTORIOL-POUS, J. (1952b): Estudio geoespeleológico de las formaciones hipogeas de sa Teulada (Santa Margarita, Mallorca). *Speleon*, 3 (4): 159-182.
- TRIAS, M. (1979a): L'Avenc de ses Papallones. *Endins*, 5-6: 29-31.
- TRIAS, M. (1979b): Nota prèvia a l'estudi de les ceràmiques de la Cova des Diners. *Endins*, 5-6: 75-80.
- TRIAS, M. (1983): *Espeleologia de les Pitiüses*. Institut d'Estudis Eivissencs. Estudis breus, 2. 59 pp. Eivissa.
- TRIAS, M. (1986a): La Covota de sa Penya Rotja. *Endins*, 12: 13-18.
- TRIAS, M. (1986b): Contribució al catàleg espeleològic de Formentera. *Endins*, 12: 25-29.
- TRIAS, M. (1992): Noves dades sobre la Cova des Coloms 1 (Manacor, Mallorca). *Endins*, 17-18: 21-23.
- TRIAS, M. (2004): 17. El paisatge subterrani meridional de Menorca. In: FORNÓS, J.J.; OBRADOR, A. & ROSSELLÓ, V.M. (eds.) *Història natural del Migjorn de Menorca: el medi físic i l'influx humà*. Mon. Soc. Hist. Nat. Balears, 11: 275-290. Palma de Mallorca.
- TRIAS, M. & GINÉS, J. (1989): Algunes noves cavitats de l'illa de Menorca. *Endins*, 14-15: 5-16.
- TRIAS, M. & MIR, F. (1977): Les coves de la zona de Can Frasquet - Cala Varques. *Endins*, 4: 21-42.
- TRIAS, M. & ROCA, L. (1975): Noves aportacions al coneixement de les coves de sa Mola (Formentera) i de la seva importància arqueològica. *Endins*, 2: 15-33.
- VICENS, D.; CRESPI, D.; BOVER, P.; GINARD, A.; VADELL, M. & BARCELÓ, M.A. (2005): Les cavitats de la Serra de na Burguesa. Zona 7: Les Coves del Pilar i les mines de guix (Palma, Mallorca). *Endins*, 27: 47-74.